

歯科パノラマ X 線写真における 下顎皮質骨の厚みの自動計測による骨粗鬆症のスクリーニング

松本 拓也[†] 林 達郎[†] 原 武史[†] 勝又 明敏^{††} 村松 千左子[†]
周 向栄[†] 飯田 幸弘^{††} 松岡 正登^{††} 片木 喜代治^{†††}
有地 榮一郎^{††††} 森 慎太郎^{†††††} 金田 隆^{†††††} 藤田 広志[†]

[†] 岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{††} 朝日大学歯学部口腔病態医療学講座歯科放射線分野 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851

^{†††} 朝日大学歯学部附属病院放射線室 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851

^{††††} 愛知学院大学歯学部歯科放射線学講座 〒464-8651 愛知県名古屋市千種区末盛通り 2-11

^{†††††} 日本大学松戸歯学部放射線学講座 〒271-8587 千葉県松戸市栄町西 2-870-1

E-mail: [†] matsumoto@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし 歯科パノラマ X 線写真に描出される下顎皮質骨の厚みの減少は、骨粗鬆症の危険性を示すスクリーニング指標の一つである。しかし、パノラマ X 線写真の撮影の目的は歯科領域の検査であり、下顎皮質骨を注視する歯科医は少ない。そこで、我々は皮質骨の異常を歯科医に示唆するコンピュータ支援診断 (Computer-aided diagnosis: CAD) システムの開発に取り組んできた。本研究では、これまでに開発した手法を、複数の施設で撮影された画像に対応できるように改良を行い、より汎用性が高い下顎皮質骨の厚みの自動計測手法を開発した。提案手法では、複数の条件下で下顎骨の下縁部と後縁部のエッジを抽出した。次に、動的輪郭モデルを利用して下顎骨の輪郭を推定した。最後に、計測位置から輪郭に対して垂直な直線の濃淡値プロファイルを取得し、プロファイル情報から皮質骨の厚みを決定した。本手法を適用した結果、すべての症例で正しく計測できた。また、下顎皮質骨の厚み 2.8 mm をしきい値として識別したとき、感度 92.6 %、特異度 100 %の結果を得た。提案手法を利用した CAD システムを臨床現場で運用した結果、骨粗鬆症の疑いを指摘することに成功し、提案手法による骨粗鬆症のスクリーニング支援が早期発見に有効である可能性が示唆された。

キーワード 骨粗鬆症スクリーニング, 歯科パノラマ X 線写真, 下顎皮質骨, コンピュータ支援診断

Osteoporosis screening by use of automated scheme for measuring mandibular cortical thickness on dental panoramic radiographs

Takuya MATSUMOTO[†] Tatsuro HAYASHI[†] Takeshi HARA[†]
Akitoshi KATSUMATA^{††} Chisako MURAMATSU[†] Xiangrong ZHOU[†]
Yukihiro IIDA^{††} Masato MATSUOKA^{††} Kiyoji KATAGI^{†††} Eiichiro ARIJI^{††††}
Shintaro MORI^{†††††} Takashi KANEDA^{†††††} and Hiroshi FUJITA[†]

[†] Graduate School of Medicine, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1194 Japan

^{††} Department of Oral Radiology, Asahi University, 1851 Hozumi, Mizuho-shi, Gifu, 501-0296 Japan

^{†††} Radiological Technology, Asahi University hospital, 1851 Hozumi, Mizuho-shi, Gifu, 501-0296 Japan

^{††††} Department of Oral Radiology, Aichi gakuin University, 2-11, Mizuho-shi, Gifu, 501-0296 Japan

^{†††††} School of Dentistry at Matsudo Department of Radiology, Nihon University,

2-870-1 Sakaemachinishi, Matsudo-shi, Chiba, 271-8587 Japan

E-mail: [†] matsumoto@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract Findings of dental panoramic radiographs (DPRs) have shown that the mandibular cortical thickness was significantly correlated with osteoporosis. Identifying asymptomatic patients with osteoporosis through dental examinations may bring a supplemental benefit for the patients. However, most DPRs were used only for diagnosing dental conditions by

dentists in their routine clinical work. The aim of this study was to develop a computer-aided diagnosis scheme that automatically measures MCT to assist dentist in screening for osteoporosis. First, the inferior border of mandibular contour was detected by use of an active contour method. Second, the locations of mental foramina were estimated on the basis of the inferior border of mandibular contour. Finally, MCT was measured on the basis of the grayscale profile analysis. A hundred of DPRs were used to evaluate our proposed scheme. Experimental results showed that the sensitivity and specificity for identifying osteoporotic patients were 92.6% and 100%, respectively. Therefore our scheme has a potential to identify osteoporotic patients at an early stage.

Keywords Osteoporosis, Dental panoramic radiography, Computer-aided diagnosis, Mandibular cortical thickness,

1. まえがき

本邦における骨粗鬆症の患者数は約 1100 万人といわれ、高齢化に伴い今後もさらなる増加が予想されている。また、骨粗鬆症に起因する骨折は高齢者の寝たきりになる原因の第 3 位であり、社会問題となっている[1]。骨粗鬆症は早期発見・早期治療が重要であるが、初期段階において自覚症状がない。そのため、検査を受ける人は少なく、治療を受けているのは 25% 程度であるといわれている。そこで、早期発見に有効なスクリーニング手法の確立が課題とされる。

下顎皮質骨の厚みの減少は、腰椎などの骨密度が低下と同様に、骨粗鬆症患者を識別する指標の一つとされる[2]。歯科パノラマ X 線写真は、歯科診療において虫歯などの歯科疾患の診断に用いられる。パノラマ X 線写真は、歯や周囲の歯槽骨以外に頸動脈、上顎洞や下顎骨などの顔面の広い範囲を展開した像として描出されるため、下顎皮質骨の厚みを計測できる。しかし、歯科医院では歯科疾患の検査が目的であり、多くの歯科医は下顎皮質骨を注視していない。そこで我々は、歯科治療のために撮影されたパノラマ X 線写真から計算機で下顎皮質骨の厚みを自動計測し、その計測結果が基準値以下であった場合、歯科医は患者に骨粗鬆症のリスクを説明し、希望に応じて専門の医療機関を紹介する新しいスクリーニング方法を提案した[3]。

パノラマ X 線写真は施設や撮影装置などの環境による画質や特性のばらつきが大きい。本研究では、多施設で撮影された画像を処理できるように、従来手法[4]を改良した。また、岐阜県内 5 施設で臨床試験を実施し、提案手法の有用性を評価した。

2. 手法

これまでに開発した処理手順の概要を図 1 に示す。従来手法では、まず下顎骨下縁の輪郭のエッジを抽出した。そして、エッジ情報を元に動的輪郭モデルにより、下顎骨下縁の輪郭を推定した。次に推定した輪郭情報から下顎皮質骨の厚みを計測する位置(オトガイ孔付近)を決定した。最後に、輪郭に対する垂線を引き、垂線の濃淡値プロファイル情報から皮質骨の厚みを決定した。

しかし、パノラマ X 線写真は撮影機構の問題として、解剖学的構造や人工物が重なって写る障害陰影が発生する。そのため、全体的にボケた画像になり、輪郭検出や皮質骨の厚み計測を正確にできない場合があった。また、これまでは 1 施設の画像のみを用いていたので、撮影機器の違いによる画像特性の変化を考慮していなかった。提案手法では、これらの問題を解決するために、輪郭検出と厚み計測の処理を改良した。改良した処理の詳細を以下に記述する。

2.1. 輪郭検出手法の改良

従来手法では、Canny フィルタ[5]によってエッジを検出し、マスク画像を用いて下顎骨の輪郭エッジを限定した。しかし、この手法はマスク画像の領域内に存在するすべてのエッジを候補として残すため、下顎骨とは関係のないノイズが候補に残る問題があった。そのため、動的輪郭モデルを用いて輪郭推定を行う際、悪影響を及ぼすことがあった。また、図 2 に示すように、パノラマ X 線写真は撮影機器の違いにより画像特性が異なるので、機器によってはエッジ検出に失敗することがあった。そこで、図 3 で示すような複数の領域を持つマスク画像をエッジの検出・限定に利用し、画像特性が異なってもエッジが正しく検出できるように手法を改良した。

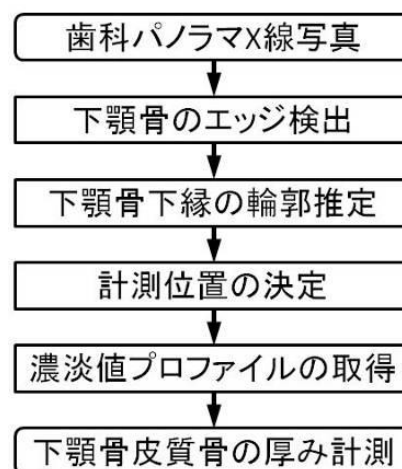


図 1 本研究手法の処理手順

パノラマ X 線写真において下顎骨は半弓上に描出される。提案手法では、Canny フィルタのエッジの勾配強度を求める処理において、Sobel フィルタではなく Kirsch フィルタを使用し、マスク画像のサブ領域ごとにフィルタの重み係数を変化させて勾配強度を計算し、エッジを検出する。エッジ候補を検出した画像を図 4 に示す。そして、マスク画像内の下縁部の領域では最も長いエッジ、後縁部では縦幅が最も長いエッジを輪郭候補として限定する。

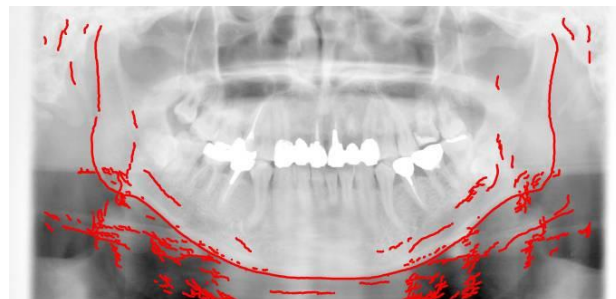


図 4 下顎骨の輪郭エッジ候補の検出例

2.2. 厚み計測手法の改良

従来手法では、濃淡値プロファイルの計測開始点から濃淡値 $h_i (0 \leq i \leq 100)$ を調べ、 $h_i - h_{i+1} > 0$ という条件を満たす位置を皮質骨の境界とした。しかし、この手法は、ノイズや障害陰影の影響を受けやすく、計測に失敗することがあった。また、図 5 に示すように従来手法は医師の計測結果と比べ、皮質骨の厚みを低めに計測する傾向が見られた。

図 6 に示すように提案手法では、従来手法で決定した境界を基準にプロファイルの範囲に対して 20% の範囲を検索対象とし、傾きの平均値 g_{ave} を求める。そして、 $h_i - h_{i+1} > g_{ave}$ となる位置を皮質骨の境界として新たに設定する。

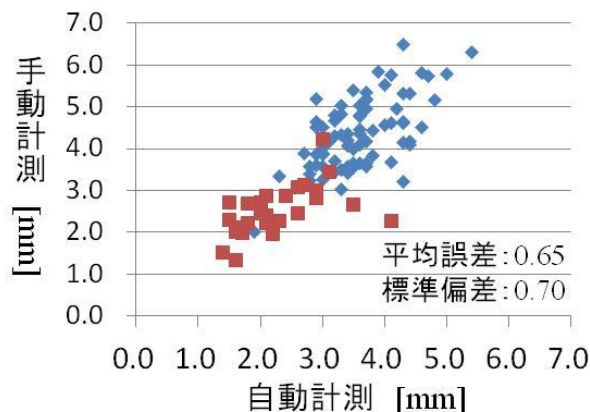


図 5 歯科医による計測と自動計測の比較

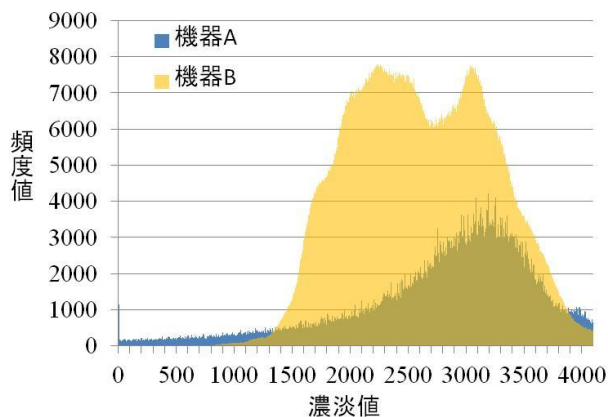


図 2 撮影機器ごとのヒストグラム
(撮影対象：歯科用ファントム)

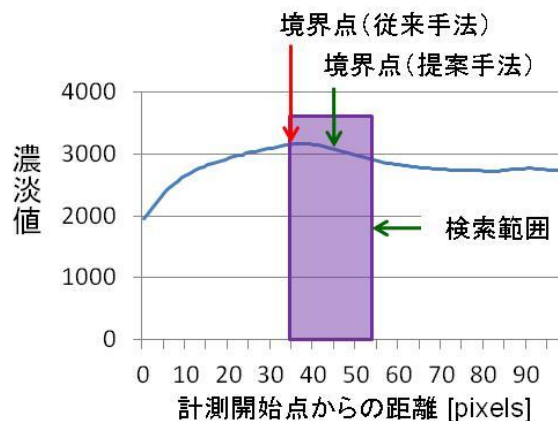


図 6 垂線の濃淡値プロファイルの例

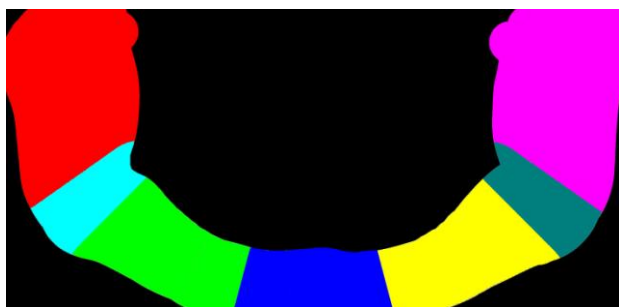


図 3 複数のサブ領域を持つマスク画像

3. 実験結果

3.1. 従来手法との比較

本研究では、歯科疾患の診断のために朝日大学歯学部附属病院で撮影された 100 症例[正常群: 73, 骨粗鬆症群 (疑い例も含む): 27] の歯科パノラマ X 線写真を使用する。歯科パノラマ X 線写真は、パノラマ X 線装置 (Veraview epocs, Morita, Japan) と イメージングプレート方式デジタル X 線システム (CR 75.0, Agfa, Germany) を用いて撮影された。撮影は、フランクフルト平面を基準とする標準的なポジショニングで行い、X 線被曝の制御には自動モードを使用した。得られた画像は、DICOM 形式でコンピュータに保存した。

提案手法を適用した結果、すべての症例で下顎皮質骨の厚みは適切な計測値を示した。正常群の平均値は 3.4 mm、異常群の平均値は 2.1 mm であり、*t* 検定(有意水準: 5%)を行った結果、有意確率 $p < 0.05$ となり正常群と異常群の間には有意差がみられた。また、2.8 mm の単一のしきい値で正常群と異常群の識別を行った結果、感度 92.6 % (25/27 症例)、特異度 100 % (73/73 症例) となった。さらに、ROC 解析を用いて、歯科放射線科医、従来手法、および提案手法による計測結果を比較したところ、歯科放射線科医による AUC が 0.987、従来手法 AUC が 0.944 に対し、提案手法による AUC が 0.980 であった。

3.2. 施設間の比較

歯科用の特殊ファントム(下顎皮質骨の厚み: 3 mm)を用いて複数の施設で撮影を行った、実験に用いたファントムを図 7、各施設の撮影条件を表 1 に示す。提案手法を適用した結果、すべての施設の画像で下顎皮質骨の厚みは妥当であった。計測値の平均は 2.9 mm、標準偏差は 0.19 となり、提案手法が複数の施設で撮影された画像に対しても有効であることが示唆された。

3.3. CAD システムを用いた臨床試験

提案手法を利用した CAD システムを用いて臨床試験を行った。臨床試験は岐阜県歯科医師会の協力の下、県内 5 施設の開業歯科医院で実施した。試験方法は、CAD システムのソフトウェアがインストールされた計算機を貸し出し、院内で撮影された画像に CAD システムの処理をした。試験は約 1 ヶ月間行った。試験結果を表 2 に示す。

目視による評価の結果、輪郭検出に成功したのは 92 % (396/431 症例) となり、皮質骨の厚みを正しく計測できたのは 84 % (363/431 症例) となった。また、撮影条件が悪い症例や小児の症例を除いた 223 症例 [骨粗鬆症の疑い: 4, 対照群: 219] について、単一のしきい値 2.8 mm で識別を行った結果、感度 100 % (4/4 症例)、特異度 86 % (188/219 症例) となった。



図 7 症例再現特殊ファントム
(a) 分解図, (b) 撮影の様子

表 1 各施設の撮影条件

	画像サイズ [pixel]	濃度分解能 [bit]	空間分解能 [mm]
施設A	1420*2920	12	0.100*0.100
施設B	1536*2903	8	0.096*0.096
施設C	1536*2780	12	0.096*0.096
施設D	1536*2836	8	0.100*0.100
施設E	2860*3444	12	0.086*0.086

表 2 臨床試験の結果

	輪郭検出	皮質骨の計測	骨粗鬆症の疑い
施設A	94.3%(82/87)	86.2%(75/87)	有(1症例)
施設B	81.1%(86/106)	76.4%(81/106)	無
施設C	100%(56/56)	98.2%(55/56)	無
施設D	96.3%(79/82)	86.5%(71/82)	無
施設E	93.0%(93/100)	81.0%(81/100)	有(3症例)

4. 考察

今回、我々は従来手法の下顎皮質骨の計測成功率を向上させるために、下顎骨の輪郭エッジ検出・限定処理を改良した。これにより、輪郭抽出における失敗は減少した。従来手法では、正しく計測できたのは 98/100 症例であったが、提案手法では、すべての症例で計測できた。また、皮質骨の厚みの計測精度を上げるため、境界の決定処理を改良した。その結果、従来手法に比べて感度、特異度ともに向上し、ROC 解析においても、良好な結果が得られた。

下顎皮質骨の厚み計測に関する従来研究では、Kavitha ら[6]がモロフォロジカルな処理と動的計画法に注目した手法を提案しており、下顎皮質骨の上下の境界線を推定することで下顎皮質骨の厚みを計測する手法を開発している。しかし、用いるデータベースが異なるため、直接的かつ定量的な評価・比較はできない。

臨床試験の結果、骨粗鬆症の疑いがあるすべて症例で皮質骨の厚みはしきい値よりも低い値を計測し、疑いを指摘することに成功した。これらの症例は通常の診察では指摘されることはなかったと考えられ、CAD システムが骨粗鬆症の早期発見に有効である可能性を示した。しかし、正常と思われる症例でも、皮質骨の厚みがしきい値より低い値も示す症例があり、識別性をより高めるためにはパノラマ X 線写真に描出される、皮質骨の粗さなどの特徴を組み合わせる必要があると考えられる。現在も多施設で撮影された歯科パノラマ X 線写真を用いた臨床実験が進行中であり、今後はその結果なども踏まえて計測手法を改良する予定である。

5. まとめ

本研究では、歯科パノラマ X 線写真における下顎皮質骨の厚みの自動計測法を提案した。実験の結果、すべて症例で下顎皮質骨の厚みは適切な計測値を示した。また、2.8 mm の単一のしきい値で正常群と異常群の識別を行った結果、感度 92.6 % (25/27 症例)、特異度 100 % (73/73 症例) となり、ROC 解析でも良好な結果が得られた。また、CAD システムを用いた臨床試験を行い、骨粗鬆症の疑いがある症例の識別に成功した。この結果から、提案手法が骨粗鬆症のスクリーニングに役立つ可能性が示唆された。

今後の課題は、下顎皮質骨の厚み計測精度の向上や皮質骨の粗さなどの特徴を組み合わせた識別手法の開発が挙げられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、有益なご助言をいただいた藤田研究室の方々、朝日大学病院の方々、タック榎の方々、および岐阜県研究開発財団の柳瀬氏と四ッ谷氏に感謝の意を表します。本研究の一部は文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム（都市エリア型）岐阜県南部エリア「モノづくり技術と IT を活用した高度医療機器の開発」によって行われました。

文 献

- [1] 折茂肇, 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2006 年版, 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会(編), ライフサイエンス出版, 東京, 2006.
- [2] H. Devlin, P. D. Allen, J. Graham, et al. "Automated osteoporosis risk assessment by dentists: A new pathway to diagnosis." *Bone*, vol.40, pp.835-842, 2007.
- [3] T. Hayashi, T. Matsumoto, T. Hara, et al. "Computerized identification of osteoporotic patients on panoramic radiographs: The challenge of developing a supplemental screening pathway for detecting asymptomatic patients," *RSNA*, Chicago, 2011.
- [4] 松本拓也, 林 達郎, 原 武史, 他, "歯科パノラマ X 線写真における動的輪郭モデルを用いた下顎皮質骨の厚みの自動計測," 電子情報通信学会技術報告, MI2011-32, pp.1-5, 2011.
- [5] J.Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans PAMI*, vol.8, pp.679-698, 1986.
- [6] M.S. Kavitha, F. Sampa, A. Asano, et al, "Computer-aided measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs for identifying osteoporosis," *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, vol.2, pp.1-9, 2011.